



EVALUATION OF BENEFITS OF REDUCING ENERGY CONSUMPTION AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF WARM MIX ASPHALT TECHNOLOGY USING RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT

Dao Van Dong¹, Lu Thi Yen¹, Nguyen Ngoc Lan^{2*}

¹University of Transport Technology, No 54 Trieu Khuc Street, Hanoi, Vietnam

²University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 9/3/2020

Revised: 26/5/2020

Accepted: 2/6/2020

Published online: 28/6/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.5.2>

* Corresponding author

Email: nguyenngoclan@utc.edu.vn; Tel: 0902 119 278

Abstract. Currently, in Vietnam, almost asphalt pavement projects are using virgin, non-renewable materials (i.e., aggregates and bitumen) to produce conventional hot mix asphalt (HMA). Meanwhile, in developed countries, such as United States, European countries and Japan, the tendency of replacing HMA technology with warm mix asphalt technology (WMA) combined with reclaimed asphalt pavement (RAP) is gaining attention. WMA can be produced and paved at lower temperatures, reducing energy consumption and greenhouse gas emissions. The use of RAP can reduce the demand for non-renewable resources. This paper presents the results of energy demand and greenhouse gas emissions (CO₂, N₂O and CH₄) in the mixing process of warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement (WMRAP) in comparison with those of traditional HMA. Zycotherm, a chemical additive, was used in WMRAP technology with a dosage of 0.15% by weight of the bituminous binder. Various RAP percentages in range of 20÷50% were used in WMRAP. Based on the calculated results, it was determined that WMRAP technology seems to have more environmental benefits in compare with traditional HMA. Process of WMRAP production provides a reduction of 15.9÷29.9% energy consumption and 13.8÷25.9% of greenhouse gas emissions, depending on the content of RAP. As the RAP content increases, the environmental benefits of WMRAP become even more pronounced.

Keywords: Hot mix asphalt, Warm mix asphalt with RAP, Reclaimed Asphalt Pavement, greenhouse gas emissions, energy demand.



ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG VÀ GIẢM PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH CỦA CÔNG NGHỆ BÊ TÔNG ASPHALT TÁI CHẾ ẤM

Đào Văn Đông¹, Lưu Thị Yến¹, Nguyễn Ngọc Lân^{2*}

¹Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Số 54 Triều Khúc, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 9/3/2020

Ngày nhận bài sửa: 26/5/2020

Ngày chấp nhận đăng: 2/6/2020

Ngày xuất bản Online: 28/6/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.5.2>

* Tác giả liên hệ

Email: nguyennogoclan@utc.edu.vn; Tel: 0902 119 278

Tóm tắt. Hiện nay ở Việt Nam hầu hết các công nghệ vật liệu mặt đường sử dụng nguồn vật liệu không tái tạo (cốt liệu và nhựa đường) để sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt nóng (Hot Mix Asphalt - HMA). Trong khi đó, ở các quốc gia phát triển như Mỹ, Châu Âu, Nhật Bản có xu hướng thay thế công nghệ bê tông asphalt nóng bằng công nghệ bê tông asphalt ấm (Warm Mix Asphalt - WMA) kết hợp với vật liệu mặt đường tái chế (Reclaimed Asphalt Pavement - RAP). Hỗn hợp WMA được chế tạo và thi công ở nhiệt độ thấp hơn so với HMA, vì vậy làm giảm mức tiêu thụ năng lượng và giảm phát thải các khí nhà kính vào môi trường. Việc thay thế một phần cốt liệu và nhựa đường mới bằng RAP cho phép giảm nhu cầu đối với các loại tài nguyên thiên nhiên không tái tạo. Bài báo trình bày kết quả tính toán nhu cầu tiêu thụ năng lượng và phát thải khí nhà kính (CO₂, N₂O và CH₄) trong quá trình sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt tái chế ấm (Warm Mix with RAP - WMRAP) và so sánh với hỗn hợp HMA. Phụ gia Zycotherm được lựa chọn cho công nghệ WMRAP với tỷ lệ sử dụng là 0.15 %. Các tỷ lệ vật liệu RAP từ 20% đến 50% được sử dụng trong hỗn hợp WMRAP. Kết quả tính toán cho thấy, công nghệ WMRAP có lợi ích về môi trường hơn so với công nghệ HMA. Cụ thể, quá trình sản xuất hỗn hợp WMRAP tiết kiệm nhu cầu năng lượng từ 15.9÷29.9% và giảm phát thải khí nhà kính từ 13.8÷25.9% tùy thuộc vào hàm lượng RAP sử dụng. Khi hàm lượng RAP tăng thì các lợi ích về môi trường càng rõ rệt hơn.

Từ khóa: Bê tông asphalt nóng, bê tông asphalt tái chế ấm, vật liệu mặt đường tái chế, khí nhà kính, tiêu thụ năng lượng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông asphalt nóng (Hot Mix Asphalt – HMA) là một trong những ngành sản xuất vật liệu xây dựng tiêu thụ năng lượng lớn do cốt liệu và chất kết dính nhựa đường phải được làm nóng ở nhiệt độ cao (vào khoảng 150-180°C). Nhiệt lượng cấp cho cốt liệu và nhựa đường được lấy từ các dạng năng lượng khác nhau như đốt dầu nhiên liệu (dầu FO, dầu DO), than đá, khí tự nhiên; điện; hơi nước quá nhiệt; dầu truyền nhiệt... Hiện nay, hầu hết các trạm trộn bê tông nhựa ở Việt Nam sử dụng dầu nhiên liệu FO cho đầu đốt tang sấy cốt liệu. Đối với nhựa đường, kỹ thuật gia nhiệt phổ biến ở Việt Nam hiện nay là gia nhiệt gián tiếp bằng dầu dẫn nhiệt trong hệ thống ống xoắn ruột gà. Dầu dẫn nhiệt được đun nóng bằng cách đốt dầu FO. Việc đốt cháy nhiên liệu hóa thạch nhằm cấp nhiệt cho cốt liệu và nhựa đường này là nguồn phát sinh một lượng lớn các khí nhà kính, chủ yếu bao gồm các khí CO₂, CH₄ và N₂O [1,2].

Khí nhà kính là nguyên nhân chính làm trái đất ấm dần lên, nước biển dâng, mất cân bằng sinh thái,... đe dọa nghiêm trọng đến con người, sinh vật và môi trường. Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO) đã cảnh báo lượng khí gây hiệu ứng nhà kính đã đạt mức kỷ lục mới trong thời gian gần đây, bất chấp tất cả các cam kết trong Thỏa thuận Paris về biến đổi khí hậu [3]. Không nằm ngoài bối cảnh chung của thế giới, lượng phát thải khí nhà kính (KNK) ở Việt Nam liên tục tăng, từ mức hơn 21 triệu tấn năm 1990 lên 150 triệu tấn năm 2000; dự tính tăng lên 300 triệu tấn vào năm 2020 [4]. Đứng trước những biến đổi khí hậu cực đoan từ hiệu ứng nhà kính, đòi hỏi Chính phủ Việt Nam phải triển khai đồng bộ nhiều giải pháp nhằm cắt giảm KNK ở tất cả các lĩnh vực và ngành nghề.

Các công nghệ mới trong sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt đã được nghiên cứu phát triển không chỉ nhằm mục đích cải thiện hiệu quả về kinh tế và kỹ thuật, mà còn nhằm cắt giảm lượng phát thải KNK, cũng như các lợi ích khác về môi trường như tiết kiệm nguồn tài nguyên tự nhiên không tái tạo (cốt liệu và nhựa đường), giảm nhu cầu sử dụng năng lượng và cải thiện điều kiện làm việc của người lao động. Sự cân bằng tối ưu giữa các yếu tố kỹ thuật, kinh tế và môi trường mang lại tính bền vững cho vật liệu mặt đường và đảm bảo sự chấp nhận của xã hội và các cơ quan quản lý nhà nước tốt hơn khi mà vấn đề bảo vệ môi trường ngày càng trở nên cấp bách và nghiêm ngặt.

Về nguyên tắc, việc giảm thiểu các tác động đến môi trường trong quá trình sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt có thể đạt được bằng một số giải pháp [5]. Thứ nhất là thay thế công nghệ trộn nóng bằng công nghệ trộn ấm nhằm giảm nhiệt độ phối trộn và nhiệt độ thi công. Điều này đồng nghĩa với giảm tiêu thụ năng lượng để gia nhiệt cốt liệu và nhựa đường và giảm lượng KNK thải ra môi trường. Thứ hai là sử dụng các vật liệu tái chế phổ biến như mặt đường nhựa tái chế, tấm lợp nhựa đường tái chế, cao su tái chế, hoặc các chất thải xây dựng khác ít phổ biến hơn như gạch ngói vỡ, nhựa tái chế, thủy tinh... nhằm thay thế một phần nguyên vật liệu tự nhiên không tái tạo. Thứ ba là sử dụng công nghệ tái chế ấm (kết hợp công nghệ trộn ấm và vật liệu tái chế) cho phép phát huy hiệu quả môi trường của cả hai giải pháp trên.

Kết quả nghiên cứu của hầu hết các báo cáo đánh giá hiệu quả môi trường của công nghệ bê tông tái chế ấm (Warm Mix with Reclaimed Asphalt Pavement – WMRAP) cho thấy, việc

kết hợp đồng thời giữa giảm nhiệt độ chế tạo và sử dụng vật liệu mặt đường nhựa tái chế (Reclaimed Asphalt Pavement – RAP) cho phép giảm mức tiêu thụ năng lượng từ 25-35%, giảm hàm lượng khí thải gây hiệu ứng nhà kính từ 25-40%, và giảm tiếp xúc với khói ở các trạm trộn và ở công trường thi công từ 30-50% so với bê tông nhựa nóng truyền thống [6-9].

Công nghệ WMRAP đã được thế giới đánh giá là một trong những giải pháp quan trọng trong phát triển kết cấu hạ tầng đường bộ, mang lại nhiều lợi ích về kinh tế, môi trường và tính năng kỹ thuật hơn so với công nghệ HMA. Tuy nhiên, công nghệ này cũng phát sinh một số kỹ thuật mới so với công nghệ HMA, như nghiền sàng và gia nhiệt bổ sung RAP hay việc pha trộn phụ gia với nhựa đường cũng đòi hỏi tiêu tốn năng lượng bổ sung. Những yếu tố này, ngược lại, làm phát sinh thêm lượng chất thải trong quá trình chế tạo bê tông nhựa. Công nghệ WMRAP còn khá mới mẻ đối với Việt Nam. Vì vậy, để áp dụng công nghệ mới này, bên cạnh những nghiên cứu về kỹ thuật, cần có nghiên cứu tính toán và lượng hóa được tác động môi trường tổng cộng của tất cả các công đoạn trong quá trình chế tạo hỗn hợp WMRAP, làm cơ sở để so sánh và đánh giá hiệu quả môi trường của công nghệ này so với công nghệ HMA truyền thống. Mặt khác, đối với ngành sản xuất vật liệu xây dựng, hiện nay ở Việt Nam hoàn toàn thiếu cơ sở dữ liệu về kiểm kê phát thải KNK đối với mặt đường bê tông asphalt. Đứng từ góc độ này, việc lượng hóa được lượng phát thải KNK còn góp phần cung cấp cơ sở dữ liệu phục vụ kiểm kê KNK của quốc gia.

2. NỘI DUNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

Bài báo trình bày kết quả tính toán phát thải khí CO₂ quy đổi và tiêu thụ năng lượng đối với các hỗn hợp bê tông asphalt tái chế ẩm sử dụng phụ gia Zycotherm và tỷ lệ RAP sử dụng là 20%, 30%, 40% và 50%. Mẫu đối chứng là hỗn hợp bê tông asphalt nóng. Lượng phát thải khí CO₂ quy đổi và nhu cầu tiêu thụ năng lượng được tính toán trong phạm vi quy trình chế tạo các hỗn hợp bê tông asphalt với công nghệ trộn theo mẻ. Trong quy trình chế tạo HMA xem xét các công đoạn chính, bao gồm: xúc cốt liệu vào phễu nhập liệu, tải cốt liệu lên tang sấy; cấp nhiệt cho cốt liệu mới; cấp nhiệt cho bitum và công đoạn trộn hỗn hợp cốt liệu và bitum. Quy trình chế tạo WMRAP bổ sung thêm công đoạn cấp nhiệt cho RAP ở tang sấy bổ sung; khuấy trộn bitum với phụ gia Zycotherm.

3. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

Theo hướng dẫn Ủy ban Liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC – năm 2006) [10], có ba phương pháp được áp dụng để tính toán lượng phát thải KNK trong sản xuất công nghiệp: (i) Xác định bằng đo đạc (đo đạc nồng độ các KNK và lưu lượng khí thải ra trên một đơn vị diện tích bề mặt trong một đơn vị thời gian trong quá trình sản xuất); (ii) Xác định bằng cân bằng vật chất (tính toán dựa trên cân bằng vật chất giữa đầu vào và đầu ra ở từng công đoạn trên cả dây chuyền sản xuất); (iii) Xác định bằng hệ số phát thải (Hệ số phát thải là tỷ lệ giữa lượng khí thải và lượng sản phẩm chính hoặc lượng nguyên liệu, nhiên liệu trong một quá trình công nghệ hoặc một loại hình sản xuất). Dựa trên những ưu và nhược điểm của từng phương pháp, nhóm tác giả chọn phương pháp tính toán lượng phát thải KNK theo hệ số phát thải để thực hiện nghiên cứu này.

Phương pháp tính toán lượng phát thải KNK bằng hệ số phát thải là kết hợp thông tin về mức độ mà một hoạt động của con người diễn ra (được gọi là số liệu hoạt động hay lượng hoạt động) với các hệ số phát thải. Vì mỗi loại KNK khi thải vào bầu khí quyển sẽ gây tác động nóng lên toàn cầu khác nhau nên chúng thường được chuyển đổi về giá trị tương đương với khí CO₂ và được gọi là CO₂ quy đổi hay CO₂eq bằng cách sử dụng hệ số GWP (Global Warming Potential – tiềm năng nóng lên toàn cầu). Khi đó, tổng lượng phát thải CO₂-eq của tất cả các công đoạn trong quá trình sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt được tính theo công thức [1, 10]:

$$CO_{2eq} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 AD_i * Q_i * EF_j * GWP_j \quad (1)$$

trong đó: - AD_i lượng tiêu thụ năng lượng trong công đoạn i (lit dầu diesel, kg dầu FO hoặc kWh điện...);

- n là số công đoạn trong quá trình sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt;

- Q_i là hệ số chuyển đổi đơn vị năng lượng sử dụng trong công đoạn i (MJ/lit dầu diesel, MJ/kg dầu FO, MJ/kWh điện...);

- EF_j là hệ số phát thải của KNK j (g/MJ);

- GWP_j là hệ số tiềm năng nóng lên toàn cầu của KNK j.

Đối với các trạm trộn bê tông nhựa nóng đã vận hành nhiều năm theo quy trình ổn định thì định mức tiêu hao năng lượng để sản xuất 1 tấn hỗn hợp bê tông có thể xác định được từ số liệu thống kê của trạm trộn. Vì vậy, lượng tiêu thụ năng lượng trong các công đoạn sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt nóng được khảo sát, thu thập trực tiếp tại các trạm trộn bê tông và được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Định mức tiêu thụ năng lượng trong quá trình sản xuất hỗn hợp bê tông asphalt nóng.

Các công đoạn trong quá trình chế tạo hỗn hợp bê tông asphalt	Thiết bị	Loại năng lượng tiêu thụ	Định mức tiêu thụ
Xúc cốt liệu vào phễu nhập liệu	Máy xúc lật	Dầu diesel	0.25 lit/tấn cốt liệu*
Tải cốt liệu lên tang sấy	Băng truyền	Điện	0.80 kWh/tấn cốt liệu*
Cấp nhiệt cho cốt liệu mới	Tang sấy	Dầu nhiên liệu (dầu FO)	6.74 kg/tấn cốt liệu*
Cấp nhiệt cho bitum 60/70 (nhựa không pha chế)	Bồn gia nhiệt	Dầu nhiên liệu (dầu FO)	10.0 kg/tấn bitum**
Trộn hỗn hợp cốt liệu, RAP và nhựa đường	Băng gầu, sàng rung, thiết bị định lượng, bơm phun nhựa đường, buồng trộn	Điện	3.20 kWh/tấn cốt liệu*

* Số liệu được khảo sát, thu thập tại trạm trộn bê tông nhựa nóng Tân Cang thuộc Công ty cổ phần đầu tư xây dựng BMT (Địa chỉ trạm trộn: Ấp Tân Cang, Xã Phước Tân, TP. Biên Hòa, Tỉnh Đồng Nai).

** Số liệu được khảo sát, thu thập tại trạm trộn bê tông nhựa nóng Bến Lức thuộc Công ty cổ phần đầu tư xây dựng BMT (Địa chỉ trạm trộn: Lô G, Đường Số 1, KCN Nhứt Chánh, Huyện Bến Lức, Tỉnh Long An).

Tuy nhiên, WMRAP là công nghệ mới đối với Việt Nam và các dự án sản xuất mới chỉ dừng lại ở mức độ thí điểm nên chưa có số liệu thống kê về định mức tiêu thụ năng lượng. Vì vậy, đối với các mẫu WMRAP, lượng tiêu thụ năng lượng được xác định dựa trên những giả định như sau:

(1) Lượng tiêu thụ năng lượng của các công đoạn không phụ thuộc vào nhiệt độ chế tạo hỗn hợp bê tông (xúc cốt liệu vào phễu nhập liệu; tải cốt liệu, RAP lên tang sấy, trộn cốt liệu, RAP và bitum) được lấy bằng định mức như đối với hỗn hợp HMA.

(2) Việc pha trộn bitum 60/70 (đã được làm nóng) được thực hiện bằng thiết bị khuấy trộn với mức tiêu thụ điện ước lượng bằng 0.5 kWh/tấn bitum.

(3) Tổn thất nhiên liệu trong công đoạn sấy cốt liệu, RAP chỉ phụ thuộc vào độ chênh lệch giữa nhiệt độ sấy và nhiệt độ môi trường [11] và được tính toán dựa theo các công thức:

$$\frac{\Delta m_{HMA}}{\Delta m_{WMRAP}} = \frac{\Delta t_{HMA}}{\Delta t_{WMRAP}} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta m_{HMA}}{\Delta m_{RAP}} = \frac{\Delta t_{HMA}}{\Delta t_{RAP}} \quad (3)$$

trong đó: - Δm_{HMA} , Δm_{WMRAP} và Δm_{RAP} lần lượt là tổn thất nhiên liệu trong công đoạn sấy cốt liệu mới đối với hỗn hợp HMA, WMRAP và sấy RAP (kg/tấn vật liệu);

- Δt_{HMA} , Δt_{WMRAP} và Δt_{RAP} lần lượt là độ chênh lệch giữa nhiệt độ sấy và nhiệt độ môi trường trong công đoạn sấy cốt liệu mới đối với hỗn hợp HMA, WMRAP và sấy RAP (°C).

Giá trị Δm_{HMA} có thể xác định dựa vào độ chênh lệch giữa định mức tiêu thụ nhiên liệu khảo sát, thu thập trực tiếp tại trạm trộn bê tông (Bảng 1) và lượng nhiên liệu tính toán theo lý thuyết [11, 12]. Trong đó, lượng nhiên liệu theo lý thuyết để sấy 1 tấn cốt liệu mới (m_{HMA}^{LT}) được xác định theo công thức:

$$m_{HMA}^{LT} = \frac{E_{HMA}}{Q_{FO}} \quad (4)$$

với E_{HMA} là nhiệt lượng cần cung cấp cho cốt liệu (MJ/tấn cốt liệu) và Q_{FO} là hệ số chuyển đổi đơn vị năng lượng của dầu FO (MJ/kg).

Giá trị E_{HMA} được tính toán theo biểu thức [9, 12, 13]:

$$E_{HMA} = C_{ag} * (t_{HMA} - t_0) + W * C_w * (100 - t_0) + W * L_v + W * C_{vap} * (t_{HMA} - 100) \quad (5)$$

trong đó: C_{ag} , C_w và C_{vap} lần lượt là nhiệt dung riêng của cốt liệu, nước và hơi nước (kJ/kg.độ); L_v là nhiệt hóa hơi của nước (kJ/kg); W là độ ẩm trung bình của cốt liệu (%); t_{HMA} và t_0 lần lượt là nhiệt độ sấy cốt liệu và nhiệt độ môi trường (°C).

Lượng nhiên liệu theo lý thuyết để sấy cốt liệu mới và RAP đối với hỗn hợp WMRAP được tính tương tự theo công thức (4). Trong đó, nhiệt lượng cần cung cấp cho cốt liệu (E_{WMRAP}) và RAP (E_{RAP}) được tính theo các công thức:

$$E_{WMRAP} = C_{ag} * (t_{WMRAP} - t_0) + W * C_w * (100 - t_0) + W * L_v + W * C_{vap} * (t_{WMRAP} - 100) \quad (6)$$

$$E_{RAP} = C_{RAP} * (t_{RAP} - t_0) + W_{RAP} * C_w * (t_{RAP} - t_0) \quad (7)$$

với t_{WMRAP} và t_{RAP} lần lượt là nhiệt độ sấy của cốt liệu mới và RAP đối với các hỗn hợp WMRAP (°C); C_{RAP} là nhiệt dung riêng của RAP (kJ/kg.độ); W_{RAP} là độ ẩm trung bình của RAP (%).

Lượng tiêu thụ nhiên liệu để sấy 1 tấn cốt liệu mới và 1 tấn RAP đối với các hỗn hợp WMRAP được tính theo công thức:

$$m_{WMRAP} = m_{WMRAP}^{LT} + \Delta m_{WMRAP} \quad (8)$$

$$m_{RAP} = m_{RAP}^{LT} + \Delta m_{RAP} \quad (9)$$

Khi đó, dựa vào tỷ lệ thành phần thiết kế sẽ tính được lượng tiêu thụ năng lượng trong các công đoạn chế tạo 1 tấn hỗn hợp bê tông HMA và WMRAP.

Thành phần thiết kế các hỗn hợp bê tông HMA và WMRAP được thể hiện trong Bảng 2. Các thông số gia nhiệt cốt liệu, RAP và bitum 60/70 trong quá trình chế tạo hỗn hợp HMA và WMRAP được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 2. Thành phần thiết kế của hỗn hợp WMRAP và HMA.

Thành phần	Loại hỗn hợp bê tông				
	HMA	WMRAP			
	0% RAP	Z-20% RAP	Z-30% RAP	Z-40% RAP	Z-50% RAP
RAP, %	-	19.0	28.5	37.9	47.4
Đá 10-19, %	19.2	9.5	9.5	6.6	6.6
Đá 5-10, %	28.8	20.0	16.1	14.2	8.5
Đá 0-5, %	43.2	42.8	38.0	33.2	30.3
Bột khoáng, %	3.8	3.8	2.8	2.8	1.9
Nhựa đường trong RAP, %	-	0.8	1.1	1.5	1.9
Nhựa đường mới, %	5.0	4.2	4.0	3.7	3.4
Tổng, %	100	100.0	100.0	100.0	100.0

Bảng 3. Các thông số gia nhiệt cốt liệu, RAP và nhựa đường trong quá trình chế tạo hỗn hợp HMA và WMRAP.

Thông số	Loại hỗn hợp bê tông nhựa	
	HMA	WMRAP
Nhiệt độ sấy cốt liệu mới, °C	180	160
Nhiệt độ trộn hỗn hợp bê tông, °C	165	135
Nhiệt độ làm nóng nhựa đường, °C	150	-
Nhiệt độ làm nóng nhựa đường pha trộn Zycotherm, °C	-	150
Nhiệt độ gia nhiệt RAP trong công nghệ WMRAP, °C	-	80
Nhiệt độ môi trường, °C	30	30
Độ ẩm trung bình của cốt liệu, %	1.1	1.1
Độ ẩm trung bình của RAP, %	1.5	1.5

Giá trị các đại lượng nhiệt dung riêng của cốt liệu (đá magma trung tính), RAP, nước và nhiệt hóa hơi của nước thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Giá trị nhiệt dung riêng và nhiệt hóa hơi.

Thông số	Giá trị	Nguồn trích dẫn
Nhiệt dung riêng của cốt liệu (C_{ag})	0.815 kJ/kg.K	[14]
Nhiệt dung riêng của RAP (C_{RAP})	0.92 kJ/kg.K	[15]
Nhiệt dung riêng của nước (C_w)	4.185 kJ/kg.K	[12]
Nhiệt hóa hơi của nước (L_v)	2256 kJ/kg	[12]
Nhiệt dung riêng của hơi nước (C_{vap})	1.83 kJ/kg.K	[12]

Bảng 5. Hệ số chuyển đổi đơn vị năng lượng [17].

Năng lượng	Điện	Dầu diesel	Dầu nhiên liệu (dầu FO)
Đơn vị	kWh	Lit	kg
Hệ số chuyển đổi đơn vị năng lượng, MJ	3.6	36.845	41.451

Bảng 6. Hệ số phát thải KNK.

Loại năng lượng		Dầu nhiên liệu	Dầu diesel	Điện*
Hệ số phát thải, g/MJ	CO ₂	77.4	74.1	253.6
	CH ₄	0.003	0.003	-
	N ₂ O	0.0006	0.0006	-

Các hệ số chuyển đổi đơn vị năng lượng, hệ số phát thải của KNK và hệ số GWP của chúng sử dụng trong các tính toán của nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 5, Bảng 6 và Bảng 7. Trong đó, hệ số phát thải KNK của tiêu thụ nhiên liệu được lấy theo giá trị mặc định của Ủy ban Liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC – năm 2006) [10], hệ số phát thải lưới điện Việt Nam được lấy theo số liệu công bố gần đây nhất của Cục biến đổi khí hậu (Bộ Tài nguyên và Môi trường) [16].

Bảng 7. Hệ số GWP của KNK [10].

Khí	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Hệ số GWP	1	296	23

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ PHÂN TÍCH

3.1. Kết quả tính toán lượng tiêu thụ nhiên liệu cho công đoạn sấy cốt liệu và RAP

Theo kết quả tính toán, lượng tiêu thụ dầu FO theo lý thuyết trong công đoạn sấy 1 tấn cốt liệu đối với hỗn hợp HMA là 4.70 kg. Như vậy, tổn thất dầu FO của công đoạn này bằng:

$$\Delta m_{HMA} = 6.74 - 4.70 = 2.04 \text{ (kg/tấn cốt liệu)}$$

Các kết quả tính toán lượng tiêu thụ dầu nhiên liệu trong công đoạn sấy 1 tấn cốt liệu và 1 tấn RAP đối với hỗn hợp WMRAP được thể hiện trong Bảng 8.

Bảng 8. Lượng tiêu thụ dầu nhiên liệu trong công đoạn sấy cốt liệu và RAP đối với hỗn hợp WMRAP.

	Cốt liệu	RAP
Lượng dầu nhiên liệu theo lý thuyết, kg/tấn	4.29	1.89
Tổn thất dầu nhiên liệu, kg/tấn	1.76	0.68
Lượng tiêu thụ dầu nhiên liệu thực tế, kg/tấn	6.05	2.57

Như vậy, lượng dầu nhiên liệu tổn thất trong công đoạn sấy chiếm khoảng 40% lượng tiêu thụ dầu nhiên liệu theo tính toán lý thuyết. Đây là hệ số tổn thất nhiệt trung bình của các một số trạm trộn bê tông nhựa đã công bố trong nghiên cứu [18].

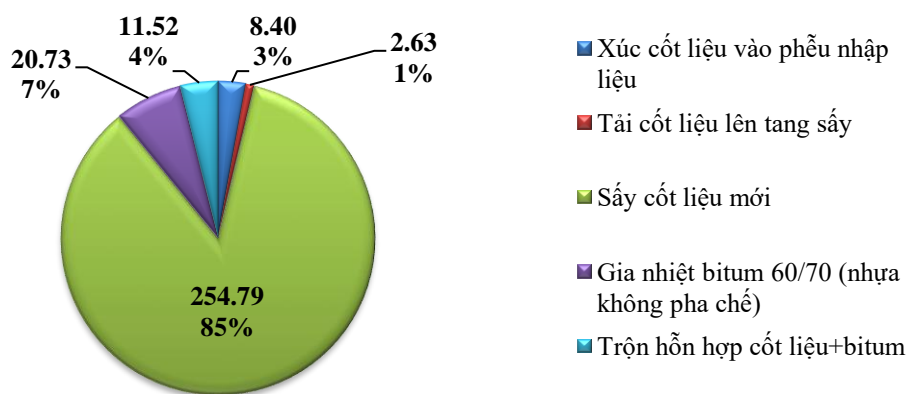
3.2. Kết quả tính toán lượng tiêu thụ năng lượng trong quá trình chế tạo hỗn hợp HMA và WMRAP

Dựa vào số liệu về mức tiêu thụ năng lượng trong Bảng 1, Bảng 8, kết hợp với tỷ lệ các thành phần thiết kế của hỗn hợp bê tông asphalt HMA và WMRAP, có thể tính toán được nhu cầu tiêu thụ năng lượng trong các công đoạn chế tạo 1 tấn hỗn hợp HMA và WMRAP. Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 9.

Bảng 9. Mức tiêu thụ năng lượng trong quá trình chế tạo hỗn hợp HMA và WMRAP.

Công đoạn	Loại năng lượng và đơn vị mức tiêu thụ năng lượng	Mức tiêu thụ năng lượng đối với các loại hỗn hợp bê tông				
		HMA	Z-20% RAP	Z-30% RAP	Z-40% RAP	Z-50% RAP
Xúc cốt liệu vào phễu nhập liệu	Dầu diesel, lit/tấn bê tông	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Tải cốt liệu lên tang sấy	Điện năng, kWh/tấn bê tông	0.73	0.73	0.74	0.74	0.74
Sấy cốt liệu mới	Dầu FO, kg/tấn bê tông	6.15	4.38	3.85	3.27	2.75
Sấy RAP	Dầu FO, kg/tấn bê tông	-	0.49	0.73	0.97	1.22
Gia nhiệt bitum PMB III	Dầu FO, kg/tấn bê tông	0.50	0.42	0.40	0.37	0.34
Khuấy trộn bitum và phụ gia	Điện năng, kWh/tấn bê tông	-	0.02	0.02	0.02	0.02
Trộn hỗn hợp cốt liệu+bitum	Điện năng, kWh/tấn bê tông	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20

Theo kết quả tính toán, để chế tạo 1 tấn bê tông asphalt nóng cần sử dụng 298.07 MJ năng lượng. Mỗi công đoạn trong quy trình sản xuất HMA có nhu cầu sử dụng năng lượng khác nhau, trong đó, việc cấp nhiệt cho cốt liệu mới là nguồn tiêu thụ năng lượng chủ yếu, chiếm đến 85% tổng mức tiêu thụ năng lượng (Hình 1). Điều đó cho thấy, giảm nhiệt độ sấy cốt liệu là giải pháp cắt giảm tiêu thụ năng lượng hiệu quả hơn cả so với các công đoạn khác.

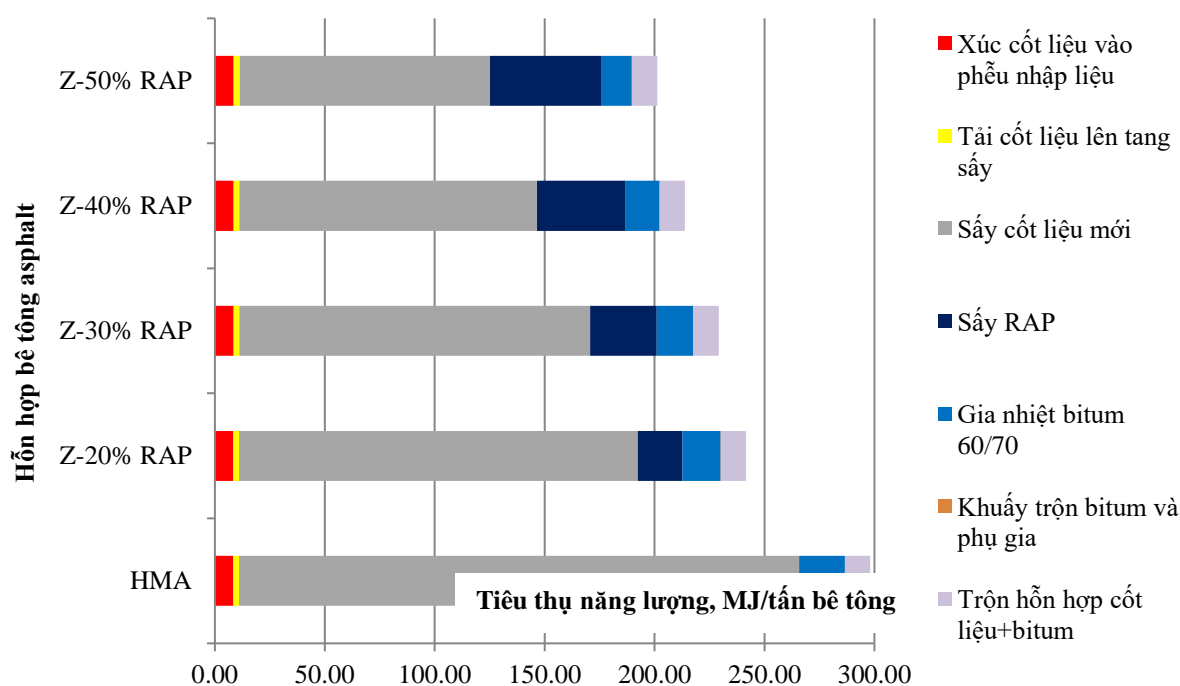


Hình 1. Tỷ trọng tiêu thụ năng lượng của các công đoạn trong quá trình chế tạo hỗn hợp HMA.

Kết quả tính toán nhu cầu tiêu thụ năng lượng trong quá trình chế tạo hỗn hợp WMRAP sử dụng phụ gia Zycotherm được thể hiện trên Bảng 10 và Hình 2. Theo kết quả tính toán, tùy thuộc vào tỷ lệ RAP, sử dụng công nghệ WMRAP để giảm nhiệt độ sấy cốt liệu mới 20 °C cho phép giảm nhu cầu tiêu thụ năng lượng từ 18.9% đến 32.5% so với công nghệ bê tông nóng truyền thống.

Bảng 10. Tổng nhu cầu tiêu thụ năng lượng và hiệu quả giảm tiêu thụ năng lượng của công nghệ WMRAP so với công nghệ HMA.

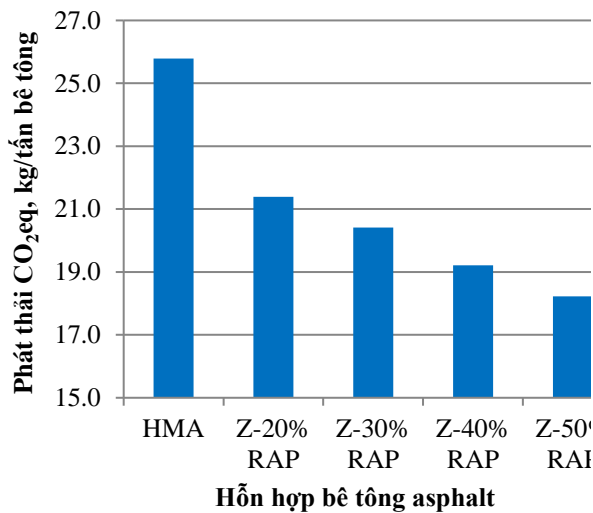
Hỗn hợp bê tông	HMA	Z-20% RAP	Z-30% RAP	Z-40% RAP	Z-50% RAP
Tổng nhu cầu tiêu thụ năng lượng, MJ/tấn	298.07	241.64	229.19	213.85	201.25
Hiệu quả giảm tiêu thụ năng lượng của công nghệ WMRAP so với công nghệ HMA, %		18.9	23.1	28.3	32.5



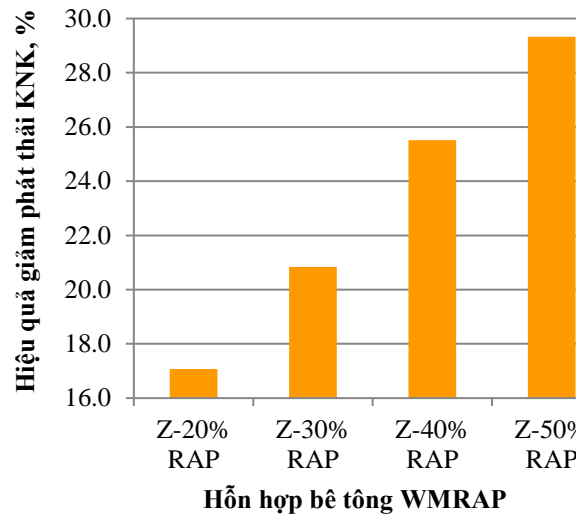
Hình 2. Nhu cầu tiêu thụ năng lượng trong quá trình chế tạo hỗn hợp WMRAP và HMA.

Hàm lượng RAP thay thế cốt liệu mới có ảnh hưởng đến mức tiêu thụ năng lượng trong quá trình chế tạo hỗn hợp WMRAP, cụ thể khi tăng hàm lượng RAP thì mức tiêu thụ năng lượng giảm (Bảng 10).

Kết quả tính toán tổng lượng phát thải KNK trong quá trình sản xuất hỗn hợp WMRAP và HMA được thể hiện trên Hình 3.



Hình 3. Tổng lượng phát thải KNK trong quá trình chế tạo hỗn hợp WMRAP và HMA.



Hình 4. Mức giảm phát thải KNK của công nghệ WMRAP so với công nghệ HMA.

Theo kết quả tính toán, quá trình sản xuất hỗn hợp HMA phát thải 25.8 kgCO₂eq/tấn vào khí quyển. Trong khi đó, tất cả các mẫu WMRAP đều có mức phát thải KNK thấp hơn so với mẫu HMA. Lượng phát thải KNK phụ thuộc vào hàm lượng RAP sử dụng để thay thế cốt liệu mới. Khi tăng hàm lượng RAP từ 20% lên 50% thì phát thải KNK giảm từ 17.1% đến 29.3% so với mẫu HMA (Hình 4).

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ những số liệu thực nghiệm và tính toán mức độ tiêu thụ năng lượng và phát thải KNK của công nghệ bê tông asphalt tái chế ẩm và công nghệ bê tông asphalt nóng truyền thống, một số kết luận sau được đưa ra:

- Công nghệ bê tông asphalt tái chế ẩm tiết kiệm năng lượng từ 18.9% đến 32.5% và giảm phát thải KNK từ 17.1% đến 29.3% so với công nghệ bê tông asphalt nóng truyền thống;

- Công nghệ bê tông asphalt tái chế ẩm giảm được nhu cầu khai thác và sử dụng tài nguyên tự nhiên không tái tạo do một phần cốt liệu và nhựa đường mới được thay thế bằng vật liệu mặt đường asphalt cũ và giảm nhu cầu sử dụng đất để chôn lấp phế thải xây dựng (RAP).

- Tóm lại, các lợi ích về môi trường đạt được của công nghệ bê tông asphalt tái chế ẩm đã góp phần cải thiện và giảm thiểu các vấn đề về môi trường cho ngành công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng. Bên cạnh đó, việc cắt giảm phát thải KNK cho phép các trạm trộn bê tông nhựa có thể được lắp đặt ở gần các khu dân cư, nơi có nhu cầu sử dụng loại vật liệu xây dựng này cao và đồng thời cũng có các yêu cầu nghiêm ngặt hơn về môi trường.

LỜI CẢM ƠN

Kết quả công bố trong bài báo là một phần nội dung nghiên cứu của đề tài trọng điểm cấp Quốc gia có Mã số KC.02.16/16-20 được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bo Peng et al., Evaluation system for CO₂ emission of hot asphalt mixture, *Journal of Traffic and Transportation Engineering (english edition)*, 2 (2015) 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2015.02.005>
- [2]. Feng Ma, Aimin Sha, Ruiyu Lin, Yue Huang, Chao Wang, Greenhouse Gas Emissions from Asphalt Pavement Construction: A Case Study in China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13 (2016) 351-366. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph13030351>
- [3]. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2018, *WMO Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin)*, No. 15, 25 November 2019.
- [4]. Báo cáo cập nhật hai năm một lần lần thứ hai của Việt Nam cho Công ước khung của Liên Hợp Quốc về Biến đổi khí hậu (2017), Hà Nội, NXB Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam.
- [5]. J. M. Reza Pouranian, M. Shishebor, Sustainability Assessment of Green Asphalt Mixtures: A Review, *Environments*, 6 (2019) 73-128. <https://doi.org/10.3390/environments6060073>
- [6]. Rosario Vidal, Enrique Molinera, Germán Martínezb, M. Carmen Rubio, Life cycle assessment of hot mix asphalt and zeolite-based warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement, *Resources, Conservation and Recycling*, 74 (2013) 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.018>
- [7]. J. Anthonissen, J. Braet, Review and environmental impact assessment of green technologies for base courses in bituminous pavements, *Environ. Impact Assess. Rev.*, 60 (2016) 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.04.005>
- [8]. M. Giani, G. Dotelli, N. Brandini, L. Zampori, Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling, *Resources, Conservation and Recycling*, 104 (2015) 224–238. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.08.006>
- [9]. A.A. Costa, Economic and environmental impact study of warm mix asphalt compared to hot mix asphalt, *J. Clean Prod.*, 112 (2016) 2308–2317. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.077>
- [10]. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan on behalf of the IPCC, 2006.
- [11]. Gregory Harder P.E, Yves LeGoff, Andre Loustau et al, Energy and Environmental Gains of Warm and Half-Warm Asphalt Mix: Quantitative Approach, 87th Annual TRB Meeting, Washington DC, United States, January 16, 2008.
- [12]. Joao Santos, Sara Bressi, Véronique Cerezo et al, Life Cycle Assessment of low temperature asphalt mixtures for road pavement surfaces: a comparative analysis, *Resources, Conservation and Recycling*, 138 (2018) 283-297. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.012>
- [13]. Alain Romier, Maurice Audeon, Jac David et al, Low-Energy Asphalt with Performance of Hot-Mix Asphalt, *Journal of the Transportation Research Board* 1962, 1 (2006) 101-112. <https://doi.org/10.1177/0361198106196200112>
- [14]. Douglas W. Waples, Jacob S. Waples, A Review and Evaluation of Specific Heat Capacities of Rocks, Minerals, and Subsurface Fluids. Part 1: Minerals and Nonporous Rocks, *Natural Resources Research*, 13 (2004) 97–122. <https://doi.org/10.1023/B:NARR.0000032648.15016.49>
- [15]. Christopher Daniel DeDene, Investigation of the Thermal Parameters of Reclaimed Asphalt Materials with Applications to Asphalt Recycling (Doctoral dissertation thesis, The University of Minnesota, Minneapolis), 2014.

- [16]. Nghiên cứu, xây dựng hệ số phát thải (EF) của lưới điện Việt Nam ([http://www.dcc.gov.vn/van-ban-phap-luat/1054/Nghien-cuu.-xay-dung-he-so-phat-thai-\(EF\)-cua-luoi-dien-Viet-Nam-\(K%C3%A8m-CV-330/BDKH-GNPT\).html](http://www.dcc.gov.vn/van-ban-phap-luat/1054/Nghien-cuu.-xay-dung-he-so-phat-thai-(EF)-cua-luoi-dien-Viet-Nam-(K%C3%A8m-CV-330/BDKH-GNPT).html)), xem 19/04/2019.
- [17]. Thông tư số 20/2016/TT-BCT, Quy định mức tiêu hao năng lượng trong ngành công nghiệp thép, Bộ Công Thương, Hà Nội, 2016.
- [18]. West R, Rodezno C, Julian G et al, Field Performance of Warm Mix Asphalt Technologies (National Cooperative Highway Research Program Report No. 779). Transportation Research Board, Washington, D.C., 2014.